

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РАЗРУШЕНИЯ ДВУХФАЗНОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВОВ ВТЗ-1 ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МОРСКОЙ ВОДЫ

*Наприенко С.А., Лавров А.В.*

*Руководитель - д.т.н. Орлов М.Р.*

ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, г. Москва,

**naprienkosa@viam.ru**

Методом растровой электронной микроскопии выполнено исследование эксплуатационного разрушения лопатки вентилятора из титанового сплава ВТЗ-1. Установлен хрупкий механизм замедленного разрушения, развивающегося по кристаллографическим плоскостям структурных составляющих сплава. Методом моделирования условий нагружения образцов при воздействии водного солевого раствора воспроизведен хрупкий механизм замедленного разрушения, идентичный эксплуатационному разрушению.

Безопасная эксплуатация авиационной техники (АТ) в значительной степени определяется работоспособностью авиационных газотурбинных двигателей (ГТД). Надежность ГТД основывается на расчетах коэффициентов запаса прочности наиболее нагруженных деталей и результатах стендовых эквивалентно-циклических испытаний.

В основу прочностных расчетов деталей ГТД закладываются паспортные значения механических характеристик материалов, подтвержденные результатами всесторонних исследований заготовок деталей. Используемая в прочностных расчетах база данных, как правило, основана на испытаниях стандартных образцов и не содержит таких характеристик сплавов, как склонность к замедленному разрушению в условиях различных климатических факторов, влияние размерных и геометрических факторов на значения прочностных характеристик.

Эксплуатация АТ в условиях морского базирования сопровождается агрессивным воздействием климатических факторов, приводящим к повреждению деталей в результате развития различных видов коррозионного разрушения конструкционных материалов и защитных функциональных покрытий. Наиболее опасным является замедленное разрушение деталей из двухфазных титановых сплавов в условиях воздействия морской воды при небольших по величине растягивающих напряжениях.

Проблема повышения ресурса и надежности деталей ГТД может быть решена на основе всесторонних исследований эксплуатационных разрушений. Для установления механизма и причин разрушений деталей ГТД необходимо проведение моделирования эксплуатационных разрушений с применением современной испытательной, исследовательской и

аналитической техники, а также проведение общей и специальной квалификации материалов авиационного назначения, в том числе – с учетом воздействия коррозионно-активной среды [1, 2].

В работе проведены фрактографические и микроструктурные исследования хвостовика лопатки вентилятора авиационного ГТД широкофюзеляжного транспортного самолета из титанового сплава ВТЗ-1.

Детальный анализ морфологии поверхности эксплуатационной трещины показал, что рельеф поверхностей трещины представлен фасетками квазискола по межфазным границам и кристаллографическим плоскостям структурных составляющих титановых сплавов. Характерной особенностью эксплуатационного разрушения является образование вторичных хрупких трещин, ориентированных перпендикулярно поверхности излома (рис. 1).

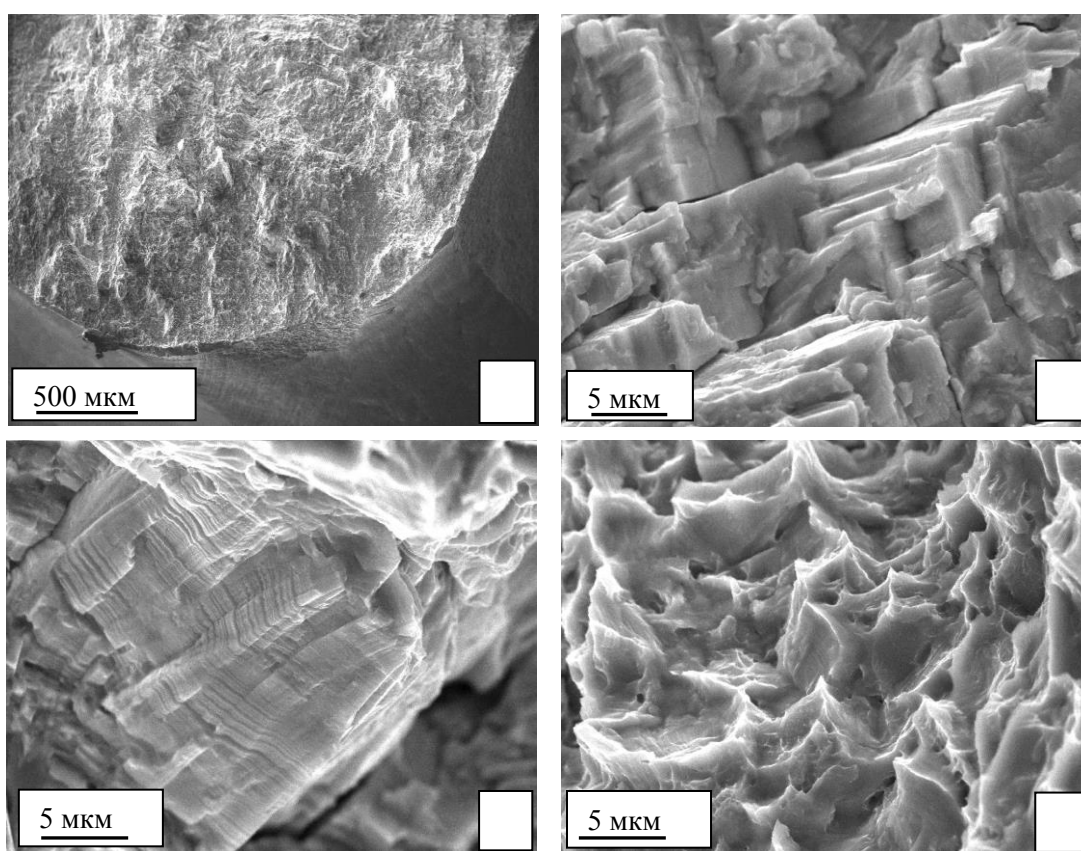


Рисунок 1 Трещина в хвостовике лопатки вентилятора из сплава ВТЗ-1. а – очаговая зона вскрытой трещины; б – зона хрупкого транскристаллитного квазискола по кристаллографическим плоскостям  $\alpha$ - фазы; в – пластическая деформация с выходом полос скольжения на фасетки квазискола в зоне вытяжки, образовавшейся при механическом вскрытии трещины; г – вязкий ямочный рельеф в зоне долома.

Моделирование различных механизмов разрушения сплава ВТЗ-1 в условиях статического и циклического нагружения в воздушной атмосфере и в условиях воздействия водного солевого раствора показало принципиальное

различие строения изломов. Фрактографический анализ изломов, выполненный методом растровой электронной микроскопии показал, что в воздушной атмосфере статическое разрушение сплава имеет вязкое ямочное строение, а усталостное разрушение имеет характерный фасеточный рельеф с усталостными бороздками (рис. 2).

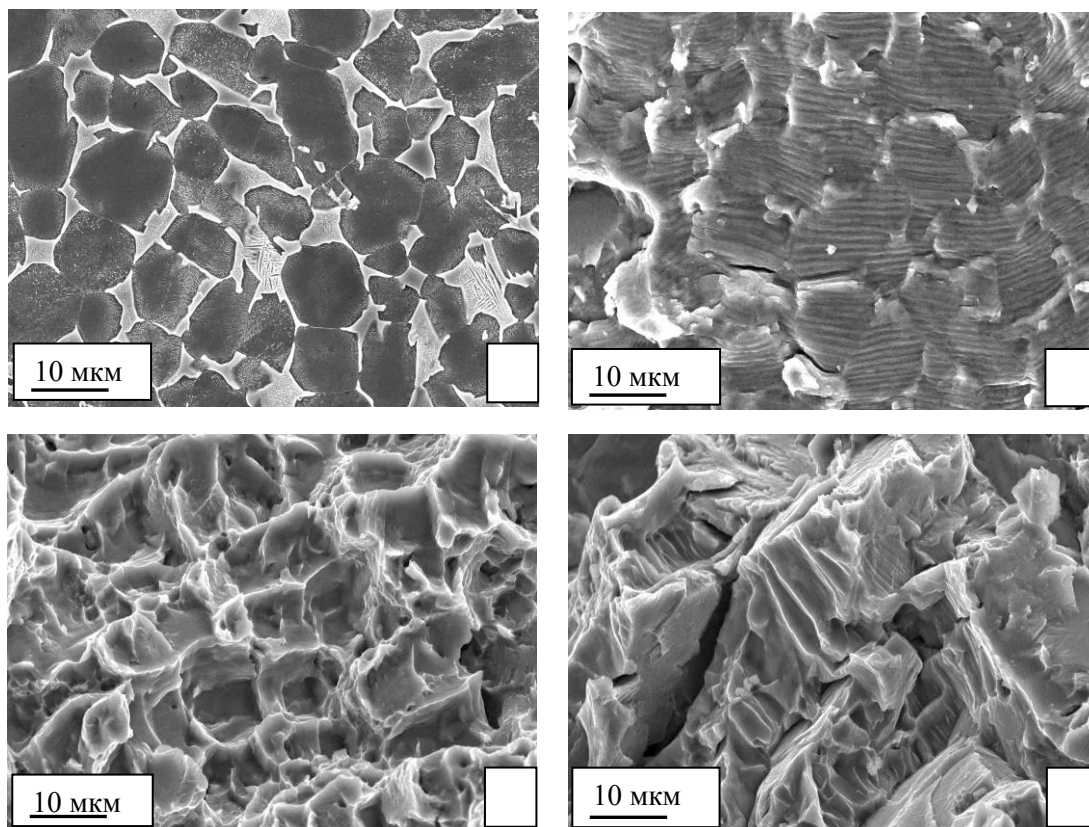


Рис. 2. Типичные механизмы разрушения образцов из сплава ВТЗ-1.  
а – микроструктура сплава; б – усталостное разрушение сплава в воздушной атмосфере; в – вязкое статическое разрушение сплава на воздухе; г – хрупкое замедленное разрушение сплава в водном солевом растворе.

Статическое и усталостное разрушение сплава ВТЗ-1 в условиях воздействия водного солевого раствора имеет развитый рельеф, представленный хрупкими фасетками квазискола, ориентированными по межфазным границам и кристаллографическим плоскостям структурных составляющих сплава, идентичный эксплуатационному разрушению.

*Работа выполнена с использованием научного и испытательного оборудования ЦКП «Климатические испытания» ФГУП ВИАМ и при поддержке РФФИ в рамках гранта НК 13-08-001125/13.*

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Орлов М.Р. Стратегические направления развития испытательного центра ФГУП «ВИАМ» //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 387–393.
2. Орлов М.Р., Наприенко С.А., Лавров А.В. Фрактографический анализ эксплуатационного разрушения диска компрессора высокого давления из сплава BT18У // Титан. 2014. №2. С. 16-21.